

# Concreto a partir de agregado reciclado

## Preparation of concrete from recycled aggregate

Luisa Moreno<sup>1</sup>, Julio Montes<sup>1</sup>, Manuel Cardales<sup>1</sup>, Gregorio Ducasa<sup>1</sup>, Haydee Osorio<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidráulica, Sanitaria y Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Entre los residuos de la construcción que se producen en el país de Panamá se encuentra el hormigón, este material de la construcción que se utiliza en cualquier obra civil y el máximo responsable de la generación de datos en las construcciones y demoliciones de infraestructuras. Una de las posibles soluciones para bajar la cantidad de residuos de construcción y demolición en el país es el reciclado de concreto, para el uso en la construcción de elementos que no son responsabilidad de la carga o para producir nuevos productos. Se puede reutilizar el hormigón por medio de la trituración de un concreto existente y así incorporarlo para hacer mezclas nuevas de hormigón. El estudio busca demostrar, mediante la aplicación de las normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) y los resultados de las pruebas de resistencia, que es posible hacer que se pueda utilizar en la construcción para las estructuras como las aceras y para adicionarlo a mezclas de concreto.

**Palabras clave** Agregados finos, Hormigón, reciclaje.

**Abstract** Concrete is amongst the construction wastes that are produced in the country of Panama. Concrete is amongst the construction wastes that are produced in the country of Panama. This construction material is used in any civil work, getting a lot of a data from the construction and demolition of infrastructures. One of the possible solutions to lower the amount of construction and demolition waste in the country is the recycling of concrete by using it in the construction of elements that are non-load bearing or to produce new products. Concrete can be reused by shredding existing concrete and then incorporating it into new concrete mixtures. The study seeks to demonstrate, through the application of ASTM (American Society for Testing and Materials) standards and strength test results, that it is possible to use concrete in the construction of structures such as sidewalks and for it to be added to new concrete mixtures.

**Keywords** Fine aggregates, concrete, recycling.

\* Corresponding author: haydee.osorio@utp.ac.pa

### 1. Introducción

La construcción es uno de los sectores económicos del país con mayor desarrollo y peso en el producto interno bruto de los últimos años y sin lugar a duda el concreto es un material fundamental para el funcionamiento de este sector. El hormigón es un material de construcción formado por una mezcla de cemento, arena, agua y grava o piedra triturada. Este es uno de los materiales más ampliamente utilizado en la construcción de obras de infraestructura, pero también es el generador de grandes volúmenes de residuos, asociados a los procesos de demolición y desperdicio [1]. Se estimó que la industria del concreto utiliza aproximadamente 10 mil millones de toneladas de arena y roca natural en todo el mundo, y simultáneamente se producen más de 11 mil millones de toneladas de residuos de construcción y demolición [2].

La reutilización de residuos de hormigón por parte de la industria de la construcción es cada vez más importante. Esto está motivado no solo por la protección del medio ambiente, sino también por la conservación de los recursos naturales agregados, la escasez de tierras para la eliminación de desechos

y el costo creciente del tratamiento de desechos antes de la eliminación [3].

Los residuos de la construcción en Panamá la mayoría de las veces terminan en lotes baldíos, sistemas de drenaje público, vías públicas, a orillas de los ríos, etc. Cabe señalar que cada año, Panamá crea una enorme cantidad de residuos y exceso de suciedad, la mayoría de los cuales, contienen una cantidad significativa de residuos de la construcción. La gestión de residuos de la construcción puede permitir a Panamá crecer económicamente y desarrollar nuevos sectores de empleo y, por supuesto, mejorar el medio ambiente y la calidad de vida, convirtiéndose en un ejemplo para toda América Latina. En estudios realizados en España, Alemania, Francia e Inglaterra, han podido demostrar que, es posible reutilizar el hormigón procedente de las construcciones, demostrando que si reemplazamos 20% de árido natural (es decir, árido sacado de la cantera), puede fabricarse hormigón sin que este pierda sus propiedades mecánicas, tal vez usarlo en hacer bloques de hormigón, subbase de carreteras, fabricación de barreras de contención rígidas, gravas en nuevos proyectos constructivos.

En el presente estudio se ensayaron agregados finos del hormigón reciclado, (a través de las normas ASTM utilizadas en Panamá) para determinar si puede o no ser reutilizado en otras áreas de la construcción.

## 2. Materiales y métodos

Presentaremos los materiales que usamos para desarrollar este artículo de una manera clara, también el tipo de cemento que utilizamos para el desarrollo del concreto, al igual que la forma o métodos utilizados para obtener nuestro material reciclado.

### 2.1 Materiales

- A. Cemento de uso general: especificado según la norma técnica ASTM C1157 “Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico”.
- B. Agua potable.
- C. Arena, especificada según la norma ASTM C33-11 “Especificación Normalizada para Agregados para Concreto” [5].
- D. Grava, especificada según la norma ASTM C33-11 “Especificación Normalizada para Agregados para Concreto” [5].
- E. Cilindros de concreto ensayado.

### 2.2 Métodos

#### 2.2.1 Trituración del concreto

Como primer objetivo teníamos conseguir el material reciclado, para hacer las pruebas necesarias, en nuestro caso que fue muy particular, el Centro de Experimental de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Panamá tenía cilindros de concreto ya ensayados, los cuales utilizamos para obtener nuestro agregado fino reciclado, pero ya otros estudiantes habían hecho el trabajo de triturar el material y separar los dos tipos de agregados, tanto fino como grueso. Por ende, solo se tuvo que recoger o extraer el agregado fino para los fines que se necesitaban.



Figura 1. Depósito de cilindros de concreto ensayados, ubicado en (CEI).



Figura 2. Proceso de trituración.

#### 2.2.2 Ensayos realizados a los agregados utilizados

Se realizaron diferentes ensayos a los agregados finos reciclados, finos y grueso naturales, con el propósito de obtener las características de estos y posteriormente realizar el cálculo de diseño de mezcla.

- Ensayo de granulometría, según la norma ASTM C-136-14, “Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos” [6].
- Ensayo de densidad aparente; siguiendo la norma ASTM C-29-04, “Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa e índice de huecos en los agregados” [7].
- Ensayo de densidad específica: basado en la norma ASTM C-127-04 la cual trata, “Método de ensayo normalizado para determinar la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados grueso.” [8].

#### 2.2.3 Diseño de mezcla

Existen muchos métodos para dosificar una mezcla de concreto, pero para este estudio se utilizó un método particular “Método de proporcionamiento de masa”, dicho método es sencillo y práctico para conocer la cantidad en masa de material que necesitamos para hacer la mezcla. Del diseño obtuvimos los siguientes valores para obtener  $0.034086 \text{ m}^3$ :

- Relación Agua/Cemento (w/c) = 0.46
- Peso agregado fino reciclado= 35 lb
- Peso agregado fino natural= 31 lb
- Peso agregado grueso para mezcla reciclado= 40 lb
- Peso agregado grueso para mezcla con agregado natural: 37 lb

#### 2.2.4 Realización y ensayos de las mezclas

- La mezcladora humedecida, siguiendo las recomendaciones de la norma técnica ASTM C192-14 “Practica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio” [10].



Figura 3. Mezcla de concreto en mezcladora.

Ya realizada la mezcla, el paso siguiente fue de realizar los siguientes ensayos:

- Ensayo de revenimiento: está normalizado por la norma ASTM C143/C143M-15, “Método de ensayo normalizado para asentamiento de concreto de cemento hidráulico” [13].

### 2.2.5 Elaboración de cilindros de concreto

La conformación de los cilindros y el curado de estos según la norma ASTM C192-14 “Practica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio” [10].



Figura 4: Conformación de los cilindros.

### 2.2.6 Ensayos realizados a los cilindros

Los ensayos descritos nos servirán para conocer el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas realizadas, estos son:

- Resistencia a compresión basado en la norma ASTM C39-14 “Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto” [11].

- Módulo de elasticidad y relación de Poisson ASTM D46-14 “Método de prueba estándar para módulo de elasticidad estática y relación de Poisson de hormigón en compresión” [12].



Figura 5. Ensayo a Compresión de los cilindros.



Figura 6. Ensayo del módulo de elasticidad y la relación de Poisson.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Hormigón triturado

Resultados del proceso realizado en la sección 2.2.1



Figura 7. Fraccionamiento del agregado reciclado en agregado grueso y fino [16].





Figura 8. Agregado Grueso.



Figura 9. Agregado Fino Reciclado.

### 3.2 Granulometría

Tabla 1, Tamaños de partículas y porcentajes de estas que pasan a través de cada malla

Granulometría Agregado Fino Reciclado		
Tamaño (mm)	Tamiz	Porcentaje pasa (%)
25	1"	100
19	¾"	100
12.5	½"	100
9.5	3/8"	100
4.8	Nº4	98.1
	Fondo	0

Del ensayo de granulometría (ASTM C136-14) al agregado fino reciclado se le realizaron los ensayos pertinentes, especificados en la norma (ASTM C136-14) y se determinó un módulo de finura de 2.8. Para el ensayo de granulometría del

agregado fino natural, se determinó un módulo de finura de 2.70 con un ensayo similar al del agregado fino reciclado. También se le realizó ensayo granulométrico al agregado grueso natural (ASTM C136-14), obteniendo un tamaño máximo nominal de 1 ½".

Por ensayo de densidad específica y absorción de agregados finos (ASTM C128-04) el porcentaje de absorción de agregado fino reciclado fue de 2% y del agregado fino natural fue de 1.21%. Por ensayo de densidad específica y absorción de agregados gruesos (ASTM C127-04) realizado, para agregado grueso fue de 2.65%.

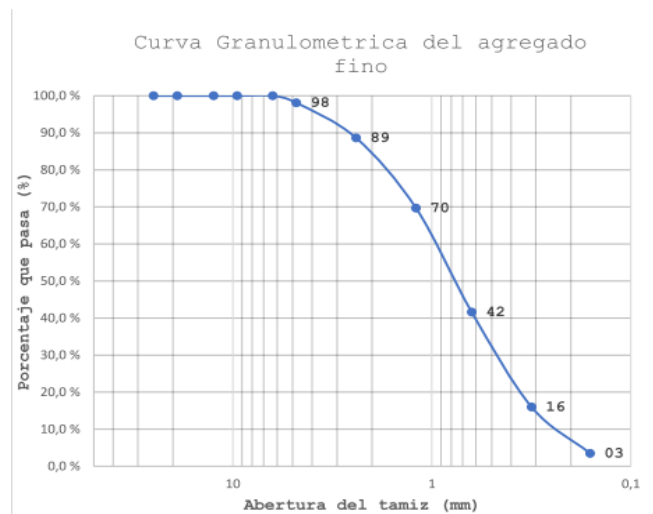


Figura 10. Curva granulométrica del agregado fino reciclado obtenido.

### 3.3 Diseño de mezcla

Resultado del procedimiento realizado en la sección 2.2.3  
 M-0 : Significa mezcla con 0% del agregado fino reciclado.  
 M-100 : Significa mezcla con 100% de agregado fino reciclado.

AFR: Es la abreviatura de "Agregado Fino Reciclado".

AFN: es la abreviatura de "Agregado Fino Natural".

AG: Es la abreviatura de "Agregado Grueso".

Tabla 2: Dosificaciones de mezclas realizadas

Dosificaciones en lb/ft <sup>3</sup>					
Mezcla	Agua	Cemento	AFR	AFN	AG
M-0	50.92	66.208	178.25	0	203.72
M-100	25.46	60.44	0	157.9	188.44

### 3.4 Realización y ensayos de las mezclas

Resultados del procedimiento realizado en la sección 2.2.4



Figura 11. Prueba de revenimiento.

Tabla 3. Datos del revenimiento

Propiedades de mezcla en estado fresco	
Mezcla	Asentamiento (pulg)
M-0	3
M-100	4.2

### 3.5 Cilindros de concreto

Resultados del procedimiento 2.2.5



Figura 12. Cilindros de Concreto.

### 3.6 Ensayos realizados a los cilindros

Resultados al realizar los procedimientos en la sección 2.2.6

#### Definiciones de abreviaciones

D: Diámetro del cilindro (m).

H: Altura del cilindro (m).

m: Masa del cilindro (kg).

V: Volumen del cilindro (m<sup>3</sup>).

$\rho$ : Densidad de la mezcla (kg/m<sup>3</sup>).

P<sub>max</sub> : Fuerza axial máxima que soporta el cilindro ensayado (kN).

$\sigma_{max}$ : Esfuerzo máximo que soporta el cilindro ensayado (MPa).

Tabla 4. Características de los cilindros de concreto

Propiedades	Cilindro con Agregado Reciclado		Cilindro con Agregado Natural	
	#1	#2	#1	#2
D (m)	0.154175	0.152095	0.154135	0.154195
H (m)	0.30333	0.30367	0.30433	0.30567
m (kg)	12.48	12.57	13.21	13.50
A (m <sup>2</sup> )	0.018669	0.018169	0.018659	0.018674
V (m <sup>3</sup> )	5.681 E-3	5.517 E-3	5.678 E-3	5.708 E-3
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2196	2394	2213	2365
P <sub>max</sub> (kN)	112	117.3	166.3	166.3
$\sigma_{max}$ (MPa)	6.00	9.15	6.29	8.91

Tabla 5. Deformaciones y esfuerzos aplicados en los cilindros de concreto

Con Agregado Reciclado			Con Agregado Natural		
Fuerza (kN)	Esfuerzo (MPa)	Elongación Axial (mm)	Fuerza (kN)	Esfuerzo (MPa)	Elongación Axial (mm)
20	1.072	0.006	20	1.071	0.000
40	2.144	0.025	40	2.142	0.005
60	3.216	0.049	60	3.213	0.013
80	4.287	0.088	80	4.284	0.022
100	5.359	0.172	100	5.355	0.036
117.3	6.286	0.200	120	6.426	0.052
			140	7.497	0.071
			166.3	8.906	0.104

Tabla 6. Deformación unitaria y módulo de elasticidad de los cilindros de concreto

	$\epsilon$	E (GPa)
Reciclado	0.00016652	15.103
Natural	0.000079625	44.724

De acuerdo con los datos obtenidos de cada uno de los cilindros ensayados, graficamos su esfuerzo vs su deformación unitaria, para comparar y poder ver gráficamente el comportamiento de la mezcla. La siguiente grafica representa el comportamiento descrito anteriormente.



Figura 13. Gráficas de esfuerzo vs deformación a los 3 días con el natural y reciclado.

#### 4. Discusión

Las observaciones realizadas entre los días 17 y 20 de junio de 2019 señalan que el agregado fino reciclado utilizado puede ser aprovechado en otros sectores de construcción en donde el hormigón no requiera ser muy resistente.

El resultado obtenido coincide con estudios previos realizados por Chaocang, Cong, Geng y Xioazhen [4] en cuanto a la diferencia de resistencias de una mezcla de concreto con un agregado fino reciclado vs una mezcla de control (es decir que en su composición no presenta agregado fino reciclado), en donde la mezcla con un agregado fino reciclado debería decrecer en su resistencia.

Este hecho pudo ser consecuencia de diferentes incidentes que se tuvieron en la realización de las mezclas, como por ejemplo, el tamaño de los agregados gruesos en la mezcla de concreto, donde el agregado fino reciclado era un poco más pequeño que el agregado fino natural. También pudo influir que una de las mezclas poseía exceso de agua proporcional al aumento del agregado reciclado, debido a que la arena que se usó en el ensayo estaba húmeda antes de ser usada.

El tiempo utilizado para la realización del experimento fue una de las limitantes debido a que la prueba no fue realizada con el tiempo de la prueba estándar.

La efectividad y rapidez de la prueba experimental puede incrementarse con una trituradora de concreto con la cual pueda transformar el concreto reciclado a agregado fino o grueso. Este experimento no contó con una herramienta tecnificada lo que limitó su ejecución.

#### 5. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos del presente estudio, se demuestra que es posible utilizar concreto mezclado con agregado fino reciclado en otras áreas de la construcción en

donde las infraestructuras no requieran resistir mucha carga transitoria como: aceras; adoquines; lotes de estacionamiento; bancas de uso comunal; y por último para ser utilizado como aditivo en mezclas nuevas.

Cabe a destacar que, si se le aumenta la cantidad de elementos reciclados a la mezcla concreto, la resistencia de este decrecerá lo cual provocará que el cilindro falle con mucha más rapidez.

Mediante la lectura de los datos obtenidos se evidencia que la muestra con agregado reciclado es más propensa a elongación axial en comparación con la de agregado natural. Así se confirma que la mezcla hecha con elementos reciclados solo debe usarse en infraestructuras que no requieran resistir de mucha carga para sacar mayor provecho de ella y reducir contaminación como costos para la obra

#### AGRADECIMIENTOS

Gracias al el Centro Experimental de Ingeniería, (CEI) de la Universidad Tecnológica de Panamá, quienes nos facilitaron el equipo para hacer los cilindros de concreto y donde se realizó también el análisis de las propiedades mecánicas de los mismos, contando con la colaboración de: Josué Pazmiño, Jesús Villar, Mariel Santana, que nos dieron sugerencias para realizar el artículo; al personal del centro experimental, que estuvieron a nuestra disposición para la elaboración de dichos ensayos. A los estudiantes Javier Lozano, Alejandro Guerra, Ehyvar Mojica, Jesús Serrano, quienes habían realizado este mismo procedimiento, pero basándose en agregados gruesos, y quienes tuvieron la disponibilidad de ayudarnos con los cálculos de ciertos datos necesarios para la obtención del diseño de mezcla, Los estudiantes Javier Lozano, Alejandro Guerra, quienes nos facilitaren el agregado fino reciclado y su artículo [16].

#### REFERENCIAS

- [1] R. Jin y Q. Chen, "Investigation of concrete recycling in the U.S. construction industry", *Elsevier Ltd*, vol. 118, pp.894-901, 2015.
- [2] V. Vidal, *et al* "Aplicación de los residuos de hormigón en materiales de construcción" *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, vol. 29, pp. 17-33, enero-junio 2011.
- [3] Z. Chaocang; L. Cong; D. Geng; L. Xioazhen; L. Zhiwu; L. Liqin, "Mechanical properties of recycled concrete with demolishe waste concrete aggregate and clay brick aggregate," *Elsevier Ltd*, vol. 9, pp.1317-1322, 2018.
- [4] ASTM C31-04. "Concrete and Aggregates". 2004.
- [5] ASTM C33-11, "Especificación Normalizada para Agregados para Concreto". 2011.
- [6] ASTM C136-14 "Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos". 2014.
- [7] ASTM C-29-04, "Método de ensayo estándar para determinar la densidad en masa e índice de huecos en los agregados".2004.

- [8] ASTM C127-04, "Método de ensayo normalizado para determinar la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados grueso". 2004.
- [9] ASTM C128-04, "Concrete and Aggregates". 2004.
- [10] ASTM C192-14, "Practica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayo en Laboratorio". 2014.
- [11] ASTM C39-14 "Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto". 2014
- [12] ASTM C469-14 "Método de prueba estándar para módulo de elasticidad estática y relación de Poisson de hormigón en compresión". 2014.
- [13] ASTM C143/C143M-15, "Método de Ensayo Normalizado para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico". 2015
- [14] A. Gonzalo y R. Jorge., "Propiedades Físicas y Mecánicas de Bloques de Hormigón Compuestos con Áridos Reciclados," Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera, Vol. 18(3), pp.81-88, 2007.
- [15] [15] A. Cerrud y A. Du Bois, "Propuesta para el manejo de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Panamá", Ciudad de Panamá, 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.cnpml.org.pa/images/mesa-de-dialogo/estudios/sensibilizacionrcd.pdf>
- [16] A. Guerra, J. Lozano, E. Mojica, J. Serrano y G. Vargas, *Estudio de las propiedades de mezclas de concreto utilizando agregado grueso reciclado en diferentes proporciones*, presentado en la Jornada de Iniciación Científica (JIC 2018), Ciudad de Panamá, Panamá, 2018.